

М.А. Зорина^{1*}, В.В. Бронш¹, Е.А. Макарова¹, В.И. Пастухов^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцин», г. Екатеринбург

² Институт реакторных материалов, г. Заречный

*m. a.zorina@urfu.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук М.Л. Лобанов

ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ X18N9 ПОСЛЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Методом ориентационной микроскопии проведено исследование поверхностей образца из стали X18 N9 в трех взаимно перпендикулярных направлениях после продолжительной эксплуатации в условиях повышенных температур и нейтронного облучения. В результате структурных изменений, произошедших в процессе эксплуатации, на поверхности образца при приготовлении металлографического шлифа наблюдается фазовое $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение. Фазовое превращение происходит в соответствии с ориентационными соотношениями (о.с.), промежуточными между о.с. Курдюмова — Закса и о.с. Нишиямы — Вассермана.

Ключевые слова: ориентационная микроскопия, аустенитная сталь, фазовые превращения, нейтронное облучение, ориентационные соотношения.

M.A. Zorina, V.V. Bronsh, E.A. Makarova, V.I. Pastukhov

PHASE TRANSFORMATION ON SURFACE OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL 18Cr-9Ni AFTER TEMPERATURE AND IRRADIATION INFLUENCE

Orientation microscopy was used to study the surfaces of a sample made of austenitic stainless steel 18Cr-9Ni in three mutually perpendicular directions after prolonged operation under conditions of elevated temperatures and neutron irradiation. During the preparation of the metallographic section the phase transformation $\gamma \rightarrow \alpha$ is observed on the surface of the sample. This one was because of the structural changes of steel that occurred during the operation. Phase transformation occurs in accordance with the orientation relations (OR) intermediate between OR Kurdumov — Sachs and OR Nishiyama — Wasserman.

Key words: orientation microscopy, austenitic steel, phase transformation, neutron irradiation, orientation relation.

Аустенитные нержавеющие стали остаются важнейшим материалом, обеспечивающим надежную эксплуатацию ответственных элементов конструкций, находящихся долгое время в условиях агрес-

сивной внешней среды и повышенных температур [1, 2]. При разработке специальных изделий, эксплуатирующихся в условиях повышенных температур, воздействии напряжений переменного знака, нейтронного облучения, необходимо, чтобы свойства материала сохранялись на протяжении всего срока службы. Аустенитное состояние в данных сталях с точки зрения «идеального» фазового равновесия является метастабильным. Это предполагает возможность его перехода в более стабильные фазовые составляющие, особенно в условиях длительного нахождения в области повышенных температур или сверхмедленного охлаждения [3–5].

В работе проведено исследование аустенитной стали марки X18H9 после продолжительной эксплуатации при повышенной температуре в интервале 370–430 °С с накопленным флюенсом быстрых нейтронов с энергией больше 0,1 МэВ $5,3 \cdot 10^{22}$ н/см². Для проведения электронно-микроскопических исследований образец в форме параллелепипеда был электролитически полирован с трех перпендикулярных друг другу примыкающих сторон. Электрополировка образца проведена в растворе 15 % HClO₄ + 85 % CH₃COOH при напряжении 21 В. Исследование структуры проводилось на растровом микроскопе Tescan Mira3, оснащенный приставкой EBSD-анализа NordlysNano фирмы Oxford Instruments, при ускоряющем напряжении 20 кВ. Шаг сканирования 0,5 мкм. Исследование текстуры проводилось с использованием построения прямых полюсных фигур (ППФ).

Нейтронное облучение при повышенных температурах приводит к структурным (рис. 1) изменениям аустенита. Радиационное порообразование (рис. 1, а), характерное для данных интервалов температур облучения, приводит к изменению объема (распуханию) [6]. Облучение приводит к радиационно-индуцированному выделению карбидов типа M₂₃C₆ (рис. 1, б), а затем к обеднению аустенита углеродом, который является сильнейшим стабилизатором аустенита для данной стали.

Совместное действие всех трех факторов (внутреннее напряжение, температура, обеднение матрицы углеродом) приводит к повышению точки мартенситного превращения для стали марки X18H9. В результате этого, после электролитической полировки, на всех взаимно ортогональных поверхностях образца наблюдается $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовое превращение (рис. 2). Для возникшей α -фазы отличительной особенностью является наличие основной компоненты текстуры с направлением $\langle 111 \rangle$ перпендикулярным полированной поверхности, на которой реализуется превращение. На поверхности А доля наблюдаемой α -фазы достигает 18 %, когда для поверхностей Б и В не превышает 2 %. Образование

α -фазы происходит по сдвиговому механизму. Об этом свидетельствует наличие о. с. между α - и γ -фазами, промежуточными между о. с. Курдюмова — Закса и о. с. Нишиямы — Вассермана [7]. Последнее позволяет идентифицировать α -фазу как бейнит [8].

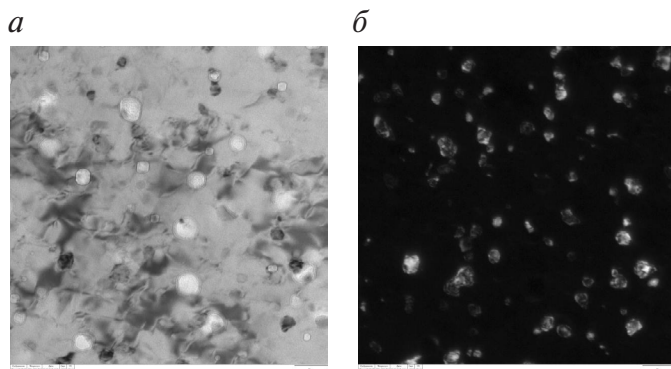


Рис. 1. Микроструктура стали X18 N9 после продолжительной эксплуатации при повышенных температурах и нейтронном облучении:

a — радиационные поры; *б* — темнопольное изображение карбидов типа $M_{23}C_6$

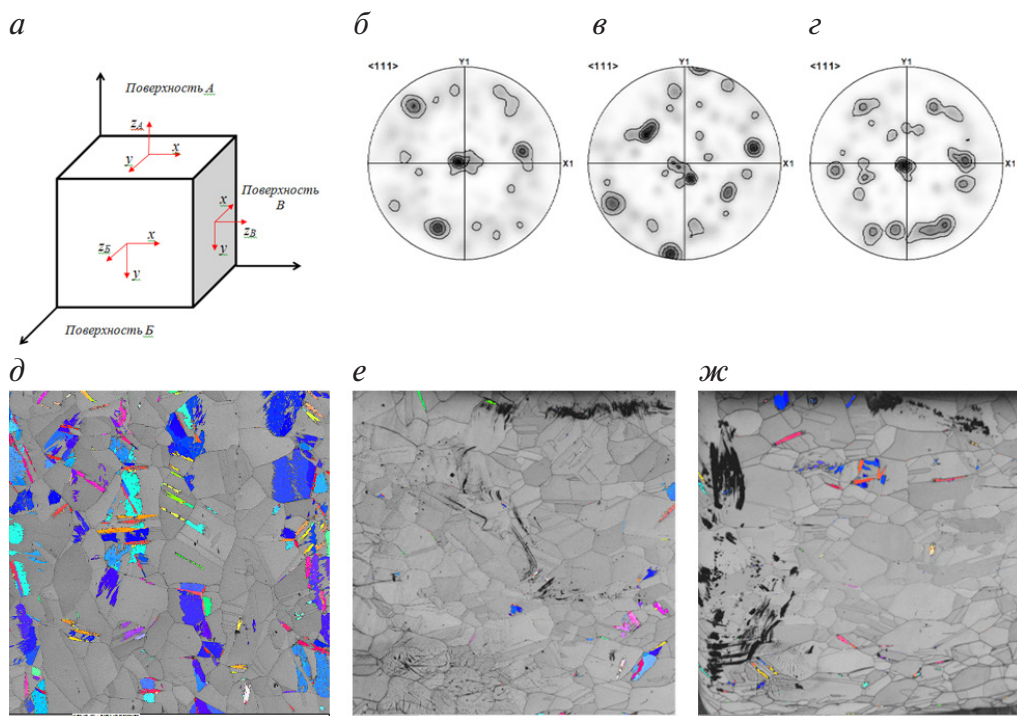


Рис. 2. Текстура и морфология α -фазы на поверхности образца из стали X18N9: *a* — схематическое изображение поверхностей; *б, в, г* — полюсные фигуры в плоскости XY поверхностей *в, д, е, ж* — EBSD-карты поверхностей *a–в* с окрашенной IPF-цветом α -фазой в направлении Z

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00135 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Karlsen W., Diego G., Devrient B. Localized deformation as a key precursor to initiation of intergranular stress corrosion cracking of austenitic stainless steels employed in nuclear power plants // J. Nucl. Mater. 2010. V. 406. P. 138–151.
- 2 Karlsen W., Van Dyck S. The effect of prior cold-work on the deformation behavior of neutron irradiated AISI 304 austenitic stainless steel // J. Nucl. Mater. 2010. V. 406. P. 127–137.
- 3 Texture and structure evolution during cold rolling of austenitic stainless steel / A. Kurc-Lisiecka [et al.] // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2012. V. 52, iss. 1. P. 22–30.
- 4 Deformation induced martensitic transformation in stainless steels / E. Nagy [et al.] // Mater. Sci. Eng. A. 2004. V. 378. P. 308–313.
- 5 Litovchenko I. Yu., Tyumentsev A. N., Naiden E. Peculiarities of martensite transformation and evolution of defect microstructure in metastable austenitic steel rolled at room temperature // Phys. Mesomech. 2014. V. 14, № 1. P. 31–42.
- 6 Application of backscatter electrons for large area imaging of cavities produced by neutron irradiation / V. I. Pastukhov [et al.] // J. Nucl. Mater. 2016. V. 480. P. 289–300.
- 7 Investigation of Special Misorientations in Lath Martensite of Low Carbon Steel Using the Method of Orientation Microscopy / M. L. Lobanov [et al.] // The Physics of Metals and Metallography. 2016. V. 117, №. 3. P. 254–259.
- 8 Effect of Bainite Crystallographic Texture on Failure of Pipe Steel Sheets Made by Controlled Thermomechanical Treatment / I. Yu. Pyshmintsev [et al.] // Metallurgist. 2016. V. 60, iss. 3–4. P. 405–412.